

## 1. Liaison chimique

1. On distingue 4 types de liaisons. Quels sont-ils ? Donnez pour chacun des types de liaison un exemple de matériau et ses principales propriétés.
2. La figure 6 représente 2 courbes d'énergie de liaison correspondant à 2 matériaux : A et B.
  - a. Annotez ces courbes
  - b. Quelles propriétés (physiques, thermique, densité, mécanique...) pouvez-vous déduire de ces courbes pour A et B ?
  - c. A quelle classe de matériaux peuvent-appartenir A et B ?

## 2. Système binaire Al-Cu

Le système binaire Al-Cu est doublement intéressant car il concerne deux familles d'alliages utilisés dans l'industrie suivant qu'on considère les parties riches en aluminium ou en cuivre.

1. Compléter les différents domaines du diagramme de phases du système binaire Al-Cu sur la figure 1 sachant qu'on trouve les phases solides suivantes :
  - la phase  $\alpha_{(Al)}$ , solution solide riche en aluminium de structure CFC ;
  - la phase  $\theta$  de stœchiométrie  $Al_2Cu$  ;
  - la phase  $\eta$  de stœchiométrie  $AlCu$  ;
  - la phase  $\zeta$  de stœchiométrie  $Al_9Cu_{11}$  ;
  - la phase  $\delta$  de stœchiométrie  $Al_2Cu_3$  ;
  - les phases  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  de stœchiométrie  $AlCu_2$  stables respectivement à haute et basse températures ;
  - la phase  $\beta$  de structure CC, qui fond de manière congruente ;
  - la phase  $\alpha_{(Cu)}$  riche en cuivre de structure CFC ;
  - les phases  $\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  stables respectivement à haute et moyenne températures.
2. Identifier les points remarquables du diagramme.

## 3. Alliages d'aluminium cuivre

Dans cette partie, on considère uniquement le diagramme de phase relatif aux compositions comprises entre 0 et 33% atomique que l'on pourra redéfinir comme un diagramme "simple" avec un eutectique et dont les "corps-purs" seraient respectivement Al et  $Al_2Cu$  (figure 1 bis)

1. Quelle est la solubilité maximale en Cu de l'aluminium ?
2. Si l'on élabore un alliage composé de 12% **en masse** de cuivre, quelles seront les phases présentes, leurs proportions en fraction massique et leurs compositions à 500°C ? (Attention, le diagramme de phase est donné en titre molaire)
3. Représentez schématiquement l'allure de la courbe de refroidissement depuis l'état liquide jusqu'à la température ambiante pour cet alliage
4. Proposer des compositions plausibles pour les alliages d'aluminium dont les micrographies de la figure 2 montrent la microstructure obtenue à partir d'un refroidissement lent jusqu'à la température ambiante.

## 4. Cristallographie

Pour identifier les phases en présence dans l'alliage à 4% en masse de cuivre, on a réalisé des expériences de diffraction de rayons X ( $\lambda_{\text{Cu-K}\alpha 1} = 1.540562 \text{ \AA}$ ) qui ont permis d'identifier 2 phases :  $\alpha_{(\text{Al})}$  et  $\text{Al}_2\text{Cu}$ . Les diffractogrammes correspondant sont représentés sur les figures 3 et 4, ainsi que la liste des plans diffractant et les angles de diffraction correspondant.

Des calculs plus approfondis ont permis de déterminer que l'Aluminium cristallisait selon une structure cubique et que la phase  $\text{Al}_2\text{Cu}$  cristallisait selon une structure quadratique (tétragonal).

1. Déterminez les paramètres de maille de chacune des structures en décrivant votre méthode.
2. Démontrez par un calcul basé sur le réseau réciproque la relation reliant les distances inter-réticulaires aux paramètres de maille dans le cas d'un système quadratique.
3. A partir des paramètres que vous avez déterminés, calculez la masse volumique de chacune des phases.
4. Expérimentalement, on mesure une masse volumique pour Al de  $2,7 \text{ g.cm}^3$  et de  $4,14 \text{ g.cm}^3$  pour  $\text{Al}_2\text{Cu}$ . Comparez ces valeurs avec vos calculs. Qu'en concluez-vous ?
5. Calculez la masse volumique de l'alliage Al-4%Cu

## 5. Thermodynamique. Alliage Fer-carbone (figure 5)

- 1) Quelles sont les phases en présence pour un alliage de fraction massique en carbone de  $1.8.10^{-3} \text{ C}$  à la température de  $1500^\circ\text{C}$  puis à la température de  $1480^\circ\text{C}$  ?
- 2) Quelle est la nature de la réaction se déroulant à  $1495^\circ\text{C}$  ?
- 3) Tracer qualitativement les courbes d'enthalpie libre aux températures suivantes :

$$\begin{aligned} &T_{\text{péritectique}} \\ &T_{\text{péritectique}} + 50 \\ &T_{\text{péritectique}} - 100 \end{aligned}$$

**Données :**

$$M_{\text{Al}} = 27 \text{ g/mol},$$

$$M_{\text{Cu}} = 64 \text{ g/mol},$$

$$N = 6.02. 10^{23} \text{ at.mol}^{-1}$$

Distance inter-réticulaire

$$d_{hkl} = \frac{a}{(h^2 + k^2 + l^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\left( \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\text{Relation de Bragg : } 2 d_{hkl} \sin \theta = n \lambda \quad \lambda = 1.54 \text{ angströms}$$

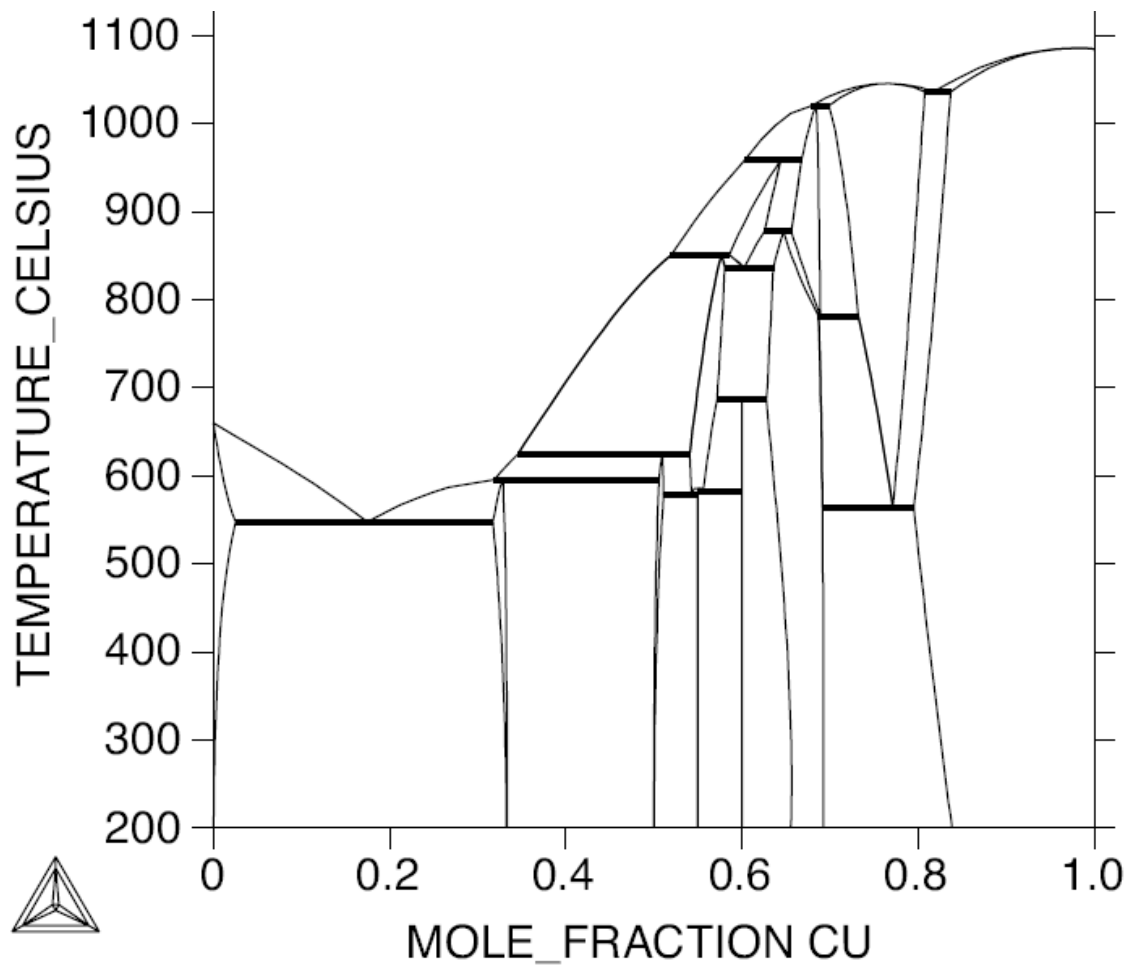


Figure 1 : Diagramme de phases du système Al-Cu calculé avec Thermo-Calc

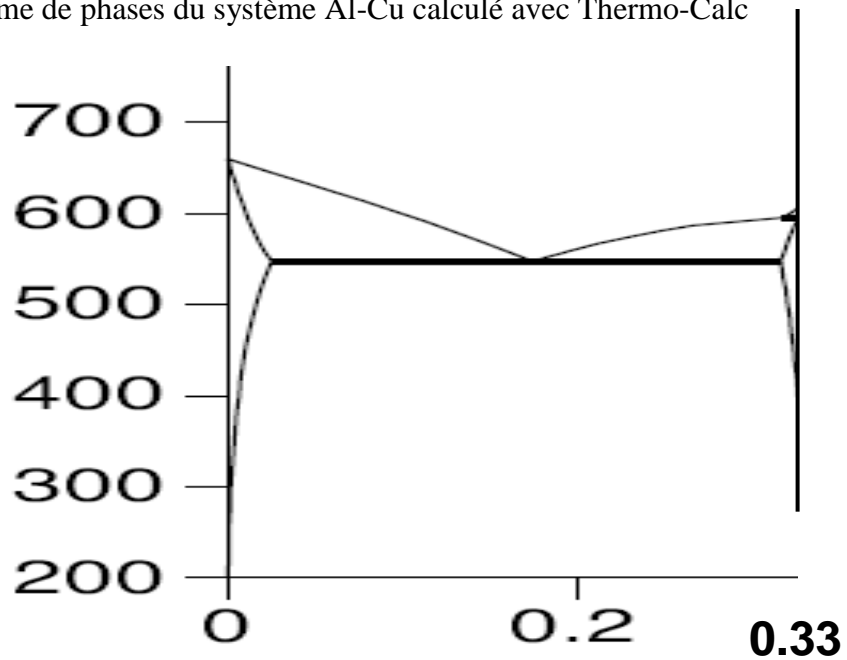


Figure 1 bis : Portion du diagramme de phases du système Al-Cu calculé avec Thermo-Calc

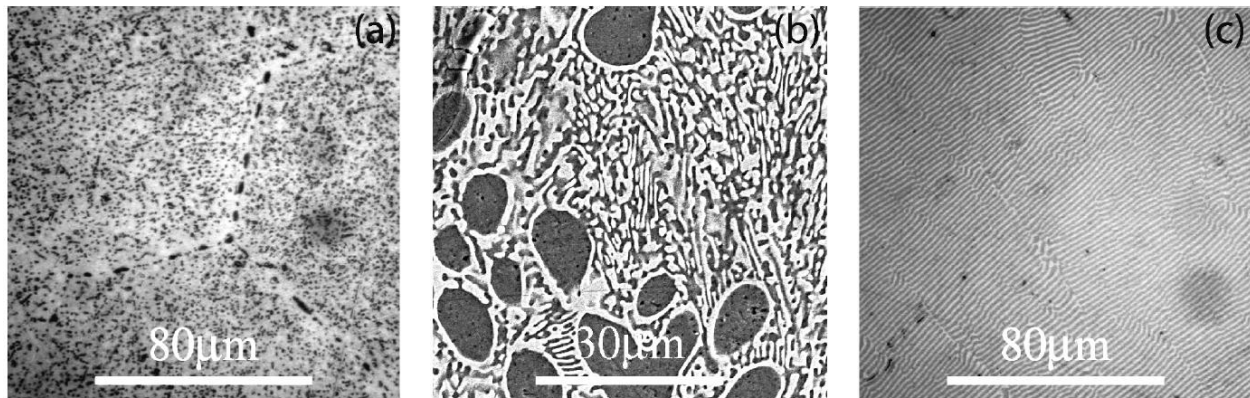


FIG. 2: Micrographies de microstructures d'alliages Al-Cu présentant les phases  $\alpha_{(Al)}$  (en clair) et  $\theta$  (en foncé) [T.W. Clyne, Dept of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, UK, ©DoITPoMS Micrograph Library, University of Cambridge, UK].

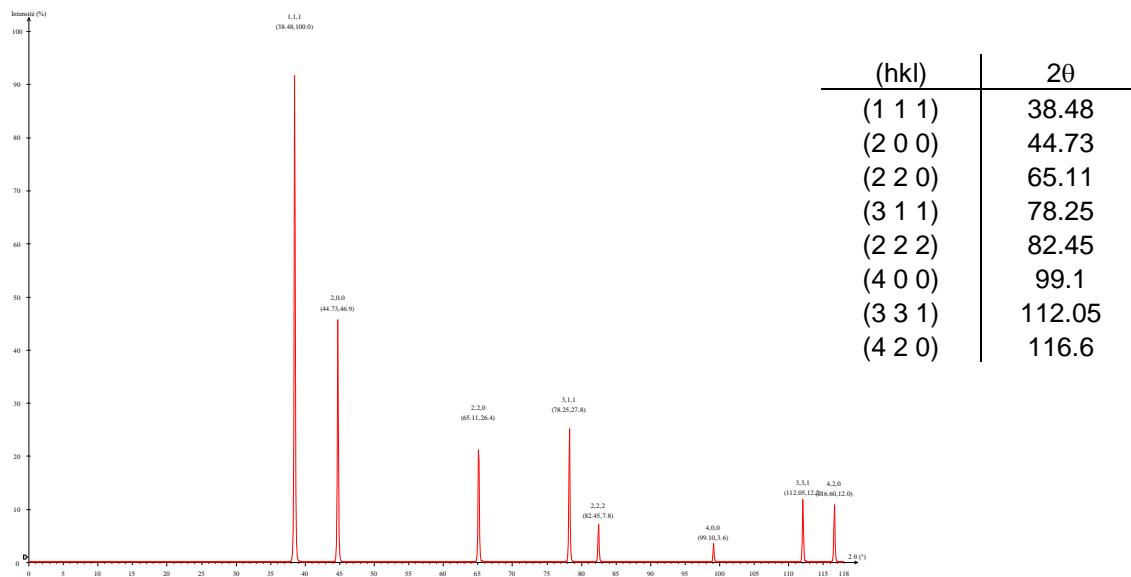
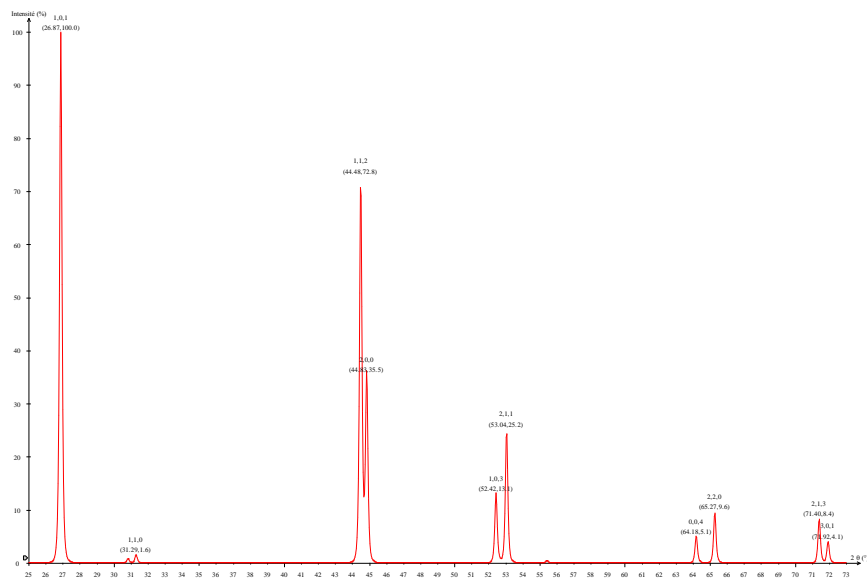


Fig.3 : Diffractogramme de l'aluminium ainsi que la liste des plans diffractant et les angles de diffraction correspondant



(hkl)	2θ
(1 0 1)	26.87
(0 0 2)	30.81
(1 1 0)	31.29
(1 1 2)	44.48
(2 0 0)	44.83
(1 0 3)	52.42
(2 1 1)	53.04
(2 0 2)	55.38
(0 0 4)	64.18
(2 2 0)	65.27
(2 1 3)	71.4
(3 0 1)	71.92
(1 1 4)	73.13
(2 2 2)	73.9
(3 1 0)	74.16

Fig.4 : Diffractogramme de la phase  $\text{Al}_2\text{Cu}$  ainsi que la liste des plans diffractant et les angles de diffraction correspondant

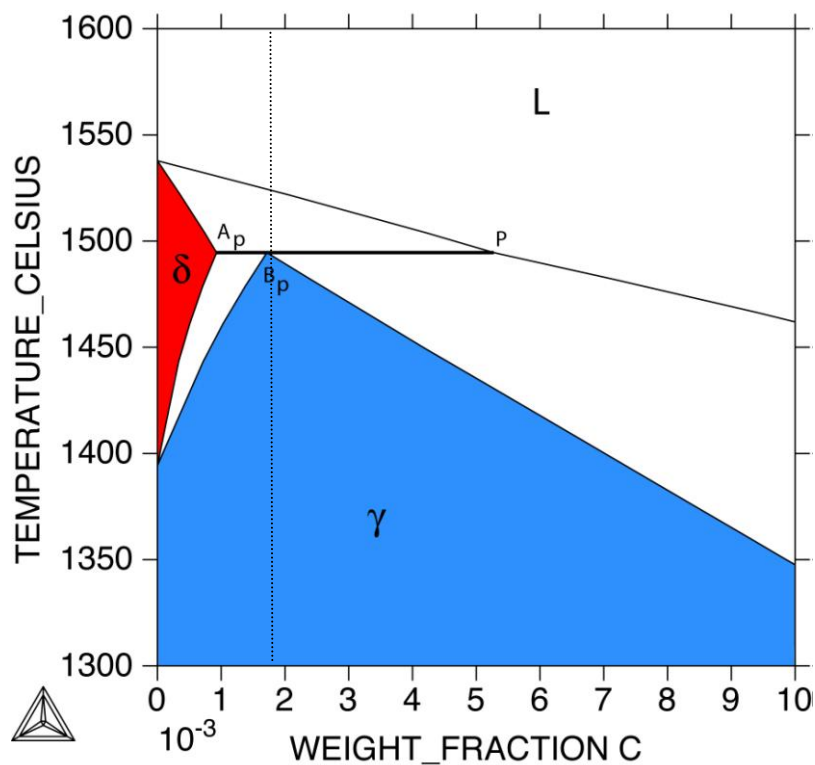


Fig 5: Diagramme de phases du système Fe-C calculé avec Thermo-Calc.

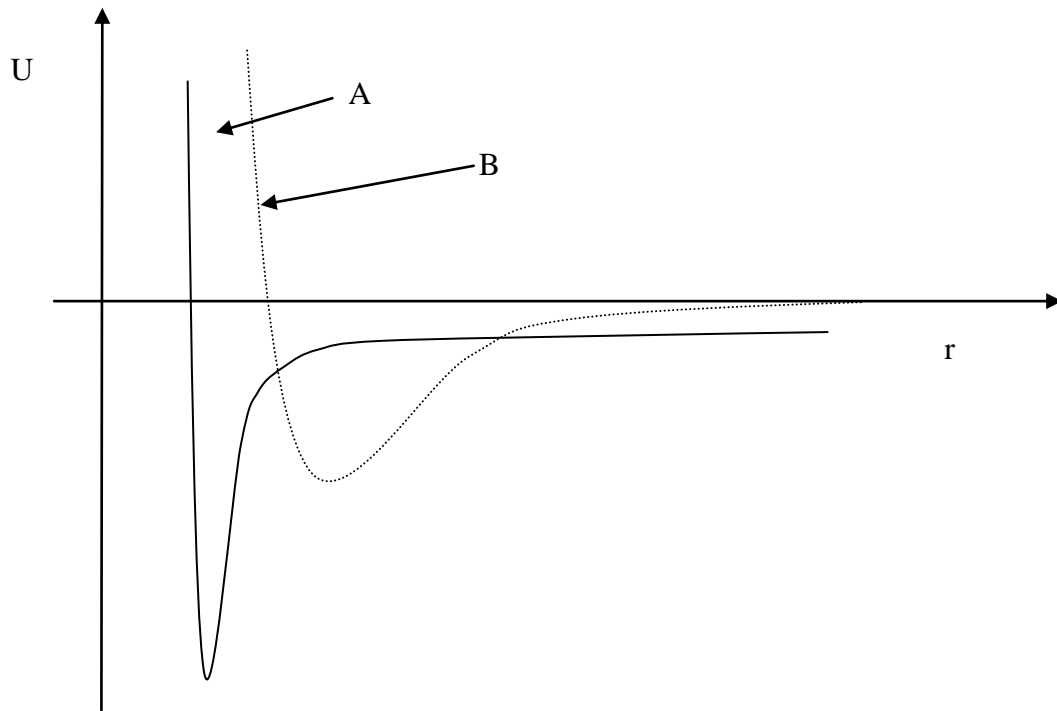


Fig. 6. Energie de liaison des matériaux A et B (figure 1)